Capítulo 4
Revoluciones tecnológicas y paradigmas tecnoeconómicos*

Carlota Pérez
LSE, IIPP-UCL y SPRU-Sussex en Reino Unido y Tecnológica de Talín, Estonia

Introducción

Joseph Schumpeter fue uno de los pocos economistas modernos que concibió el cambio técnico y el emprendimiento como fuentes del crecimiento económico (Schumpeter, 1911 y 1939).[1] Sin embargo, aunque parezca extraño, consideró la tecnología como un factor exógeno que –junto con las instituciones y las organizaciones sociales– quedaba "fuera del ámbito de la teoría económica" (1911: 11). El centro de su interés fue el emprendedor y su meta explicar tanto el rol de la innovación en el crecimiento económico como la condición cíclica del sistema.

Fueron los seguidores de Schumpeter –los neoschumpeterianos– quienes se dieron a la tarea de explicar el cambio técnico y la innovación con sus regularidades y evolución; quienes investigaron las características y dinámica de la innovación desde los cambios técnicos particulares, pasando por los conglomerados de empresas (*clusters*) y los sistemas tecnológicos, hasta las revoluciones. Ese trabajo se realizó considerando a la tecnología, la ingeniería y la organización de los negocios desde la perspectiva de las ciencias económicas y sociales, identificando los rasgos

* Del original en inglés: (2010) "Technological revolutions and techno-economic paradigms". *Cambridge Journal of Economics*, vol. 34, nº 1, pp. 185-202.

1 Anteriormente desde Antonio Serra (1613) en la Italia del Renacimiento hasta Friedrich List (1841) en la Alemania anterior a la unificación, la importancia de la tecnología y las capacidades para el crecimiento económico se reconocían como obvias. Ver Reinert, 2007.

comunes en los procesos evolutivos, en las interrelaciones y rupturas que tienen lugar en las áreas técnicas más diversas. Estas regularidades contribuyen luego a la comprensión de las relaciones entre el cambio técnico y el organizativo, entre estos y el desempeño económico, así como a las relaciones mutuas entre la tecnología, la economía y el contexto institucional.

Este artículo se concentra en las revoluciones tecnológicas y los paradigmas tecnoeconómicos: su definición, los mecanismos causales que les dan origen, su impacto en la economía y las instituciones, así como su relevancia para el análisis económico. Sin embargo, dado que estos fenómenos de nivel macro están fuertemente enraizados en los fundamentos micro del cambio técnico, la sección siguiente presenta los aportes teóricos básicos realizados en los niveles micro y meso.

La innovación como espacio dinámico para estudiar el cambio técnico

Schumpeter propuso una distinción entre la *innovación*, vista como la introducción comercial de un nuevo producto o una "nueva combinación", y la *invención*, restringida al dominio de la ciencia y la tecnología (1911: 132-136).[2] Sin duda, el espacio de lo posible tecnológicamente es mucho mayor que el de lo rentable económicamente y el de lo aceptable socialmente. Con la meta del beneficio en mente, los emprendedores y gerentes convierten constantemente invenciones en innovaciones, es decir, posibilidades técnicas y descubrimientos en realidades económicas. Por otra parte, mediante inversiones y decisiones de financiamiento también pueden dirigir los esfuerzos de investigación en direcciones particulares.

Los procesos de decisión en ello involucrados no son aleatorios. Están moldeados por un contexto que incluye los precios relativos, las regulaciones, así como otros factores institucionales y, obviamente, la percepción sobre el potencial de mercado de las innovaciones en cuestión. También son dependientes del rumbo previo (*path dependent*) porque el potencial de mercado a menudo obedece a lo que ha sido aceptado antes y porque la incorporación del cambio técnico requiere conjugar una base de conocimientos explícitos y tácitos previos con diversas fuentes de experiencia práctica.

Por ello el espacio significativo en el cual hay que estudiar el cambio técnico es el de la *innovación*, en la convergencia de la tecnología, la economía y el contexto socioinstitucional. Ese espacio es esencialmente dinámico y,

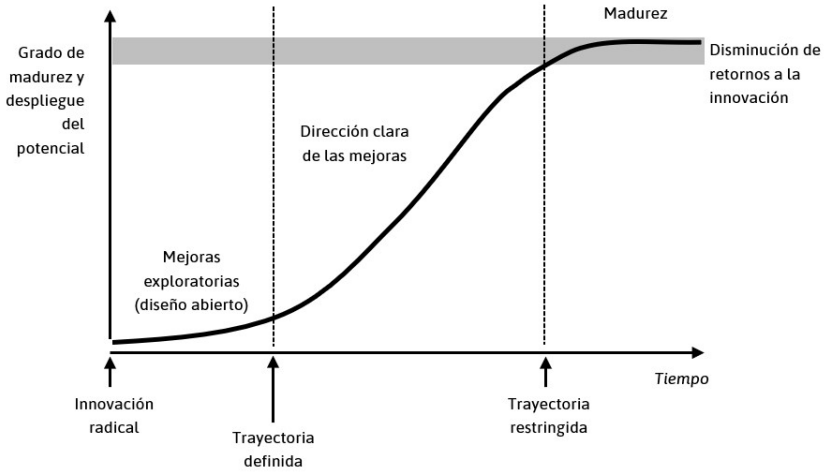
2 Ver la discusión en Nelson y Winter, 1982: 263-266.

en él, el concepto básico es el de *trayectoria* o *paradigma* (Dosi, 1982), el cual representa el ritmo y la dirección del cambio de una tecnología particular.

Las regularidades del cambio técnico: las trayectorias de innovación

Las innovaciones radicales suelen introducirse en una versión relativamente primitiva y, una vez aceptadas por el mercado, están sujetas a una serie de innovaciones incrementales que siguen el ritmo cambiante de una curva logística (ver figura 1). Estos cambios tienden a ser lentos al comienzo mientras se van estableciendo procesos de aprendizaje con lazos de retroalimentación entre productores, diseñadores, distribuidores y consumidores; luego, se hacen rápidos e intensivos una vez que un "diseño dominante" (Arthur, 1988) se ha establecido en el mercado; y después lentos de nuevo cuando se ha alcanzado la madurez por efecto de la ley de Wolf (1912), de disminución de retornos a la inversión.

Figura 1. Trayectoria de una tecnología individual



Fuente: basado en Wolf, 1912; Utterback y Abernathy, 1975; Nelson y Winter, 1977; Metcalfe, 1979; Dosi, 1982; Arthur, 1988; Malerba, 1992; entre otros.

Además del ritmo, una trayectoria supone también una dirección dentro de un espacio de posibilidad. Aquí Dosi (1982) puso énfasis cuando, con el paralelo kuhniano en mente (Kuhn, 1970), introdujo el término de paradigma técnico para representar el acuerdo tácito de los agentes involucrados

en torno a una dirección válida de búsqueda y a lo que podría considerarse una mejora o la versión superior de un producto, servicio o tecnología. Un paradigma es, entonces, una lógica colectiva compartida en que convergen el potencial tecnológico, los costos relativos, la aceptación del mercado, la coherencia funcional y otros factores. Por ejemplo, se espera que los microprocesadores (y los productos basados en ellos) sean cada vez más rápidos, pequeños, poderosos, versátiles, relativamente más baratos y así sucesivamente. En cambio, en los años cincuenta y sesenta, se esperaba que automóviles y aviones fuesen cada vez más grandes y, aunque también se esperaba que fuesen más veloces, la versatilidad no estaba entre las metas.

Las nociones de trayectoria o paradigma resaltan la importancia de las *innovaciones incrementales* en la ruta de crecimiento seguida por cada *innovación radical*. Aunque en verdad las grandes innovaciones tienen un rol muy relevante en la determinación de las nuevas inversiones y el crecimiento económico, la expansión depende de la innovación incremental (Enos, 1962). Las numerosas innovaciones menores en la mejora de productos y procesos que siguen a la introducción de cualquier producto nuevo tienen un importante impacto en los aumentos de la productividad y el crecimiento del mercado. Se ha mostrado que, poco después de su lanzamiento, tanto el número como la importancia de las innovaciones incrementales en los procesos tienden a superar los cambios en el producto (Utterback y Abernathy, 1975). En la medida en que el volumen de producción y la productividad se hacen cruciales para la expansión de mercado, las innovaciones en procesos impulsan la mayor parte de las inversiones para el aumento de escala.

Como se sugiere más adelante, lo que ocurre con las tecnologías particulares, en términos las regularidades en el dinamismo y dirección del cambio técnico, ocurre también en el nivel meso en relación con la evolución de todos los productos de una industria y con la de conjuntos completos de industrias interrelacionadas.

Naturalmente, las nociones y observaciones anteriores representan solamente los patrones generales que caracterizan las dinámicas estándar del cambio técnico, encontrándose múltiples desviaciones y excepciones en los casos específicos.

Los nuevos sistemas tecnológicos y sus interacciones

El surgimiento de innovaciones particulares no es un fenómeno aleatorio. Las tecnologías se interconectan y tienden a aparecer en la vecindad de otras innovaciones (Schumpeter, 1982: 167). Tampoco evolucionan de manera ais-

lada. La innovación suele ser un proceso colectivo que va involucrando cada vez a nuevos agentes de cambio: proveedores, distribuidores y muchos otros, hasta incluir a los consumidores. Las interacciones tecnoeconómicas y sociales entre productores y usuarios tejen redes dinámicas complejas a las que Schumpeter se refirió como conglomerados (*clusters*). Más aún, las grandes innovaciones tienden a inducir el surgimiento de otras, en la medida en que demandan innovaciones complementarias aguas arriba y aguas abajo, al igual que facilitan imitaciones, incluyendo las alternativas en competencia.

Cuando son suficientemente radicales, las innovaciones estimulan industrias completas. De ahí que el surgimiento de la televisión condujera al crecimiento de industrias de manufactura de equipos para la recepción y transmisión, así como múltiples industrias de proveedores especializados. Al mismo tiempo estimuló la transformación de las industrias de producción y publicidad, películas, música y otros sectores creativos, además de generar nuevas actividades de mantenimiento y distribución.

Este tipo de interrelaciones dinámicas es la esencia de la noción de *sistema tecnológico* (Freeman, 1974, 1992: 81 y 1994) cuando se intenta describir la conformación y desarrollo de los *clusters* schumpeterianos. En este nivel meso de análisis se observa que el proceso de difusión también sigue una curva logística (como en la figura 1). Más que simples mejoras, las innovaciones incrementales a lo largo de la trayectoria son nuevos productos, servicios o incluso nuevas industrias completas, construidos sobre el espacio de innovación inaugurado por la innovación radical inicial y ampliada por sus seguidoras.

Los nuevos sistemas tecnológicos no solo modifican el espacio de negocios, sino también el contexto institucional e incluso la cultura en la cual tienen lugar (tal como los plásticos desechables lo hicieron en el pasado e internet en la actualidad). Nuevas reglas y regulaciones suelen ser necesarias, así como entrenamiento especializado, normas y otros facilitadores institucionales (algunas veces en reemplazo de los establecidos). Estos a su vez tienden a tener un fuerte efecto de retroalimentación sobre las tecnologías, moldeándolas y guiando la dirección que toman dentro del rango de lo posible.

La madurez se alcanza cuando las posibilidades de innovación dentro del sistema comienzan a declinar y los mercados correspondientes a saturarse. El punto clave a entender aquí es que las tecnologías no se introducen de manera aislada, sino que entran en un contexto cambiante que ejerce una fuerte influencia sobre su potencial y está moldeado de antemano por innovaciones anteriores dentro del sistema.

Los productos nuevos que aparecen en la fase temprana de un nuevo sistema suelen tener una vida más larga en el mercado que los introducidos en la fase de madurez. Esto se debe principalmente a dos razones. La primera es el agotamiento del espacio de oportunidad de ese sistema en particular, de manera que las últimas innovaciones suelen tener poca relevancia. Por ejemplo, la larga serie de electrodomésticos de comienzos del siglo XX se inició con el refrigerador y la lavadora de ropa y se agotó con el abrelatas y el cuchillo eléctricos. La segunda razón es el intenso aprendizaje que tiene lugar dentro del sistema y las externalidades resultantes. Estas tienden a reducir el tiempo de llegada al mercado y a facilitar la aceptación del usuario, por lo que se reduce el ciclo de vida del producto y se acorta el tiempo de rendimiento de beneficios. Por ejemplo, tomó veinticuatro años, desde 1954, incorporar el aire acondicionado como mejora en el 90% de los automóviles producidos en Estados Unidos, mientras que los cauchos o neumáticos radiales, introducidos en 1970, tomaron menos de ocho años en alcanzar el mismo nivel de penetración en el mercado (Grübler, 1990: 155).

El complejo y cambiante mundo de interacciones y cooperación entre los diversos agentes que contribuyen con la innovación a medida que un sistema tecnológico evoluciona –investigadores, ingenieros, proveedores, productores, usuarios e instituciones– ha sido conceptualizado como un *sistema nacional de innovación* (Freeman, 1987 y 1995; Lundvall, 1988). El término evoca el *sistema nacional de economía política* de Friedrich List (List, 1904). Esta idea ha llevado a otros investigadores al estudio de *sistemas regionales* o *sectoriales de innovación* (Howells, 1999; Arocena y Sutz, 2000; Malerba, 2002). El carácter interrelacionado de las tecnologías y de las bases de conocimiento y experiencia que subyacen a su desarrollo, junto con las redes de infraestructura y servicios que las complementan y los múltiples procesos de aprendizaje que las acompañan, proporcionan externalidades para todos los participantes y ventajas competitivas para la economía en la cual se insertan.

Las revoluciones tecnológicas y los paradigmas tecnoeconómicos

De la misma manera como las innovaciones individuales se conectan entre sí formando sistemas tecnológicos, estos sistemas a su vez se interconectan en revoluciones tecnológicas. De ahí que, en una primera aproximación, una *revolución tecnológica* (RT) puede definirse como un conjunto interrelacionado de saltos tecnológicos radicales que confor-

man una gran constelación de tecnologías interdependientes; un "clúster" de "clústeres" o un sistema de sistemas.

La actual revolución de las tecnologías de información, por ejemplo, estableció un sistema tecnológico inicial alrededor de los microprocesadores (y otros semiconductores integrados), sus proveedores especializados y sus usos iniciales en calculadoras y juegos, así como en la miniaturización y digitalización de los controles y otros instrumentos de uso civil y militar. Este sistema fue seguido por una serie de innovaciones radicales sucesivas, como las minicomputadoras y las computadoras personales, los programas de software, los equipos de telecomunicaciones e internet, cada una de las cuales abrió un nuevo sistema con su respectiva trayectoria, en estrecha interrelación e interdependencia con las demás. A medida que iban apareciendo, estos sistemas se fueron interconectando y continuaron expandiéndose juntos, estableciendo entre ellos fuertes lazos de retroalimentación tanto en las tecnologías como en los mercados.

> Una revolución tecnológica puede definirse como un conjunto interrelacionado de saltos tecnológicos radicales que conforman una gran constelación de tecnologías interdependientes; un "clúster" de "clústeres" o un sistema de sistemas.

Es posible identificar cinco de estos sistemas de sistemas desde la Revolución industrial inicial en Inglaterra. Cada uno puede verse como inaugurado por un importante salto tecnológico que actúa como *big-bang* que abre un nuevo universo de oportunidades a las innovaciones rentables. Ese fue el caso del microprocesador de Intel, una computadora en un chip, iniciador de la revolución informática. El cuadro 1 muestra las cinco revoluciones, el *big-bang* de cada una y el país núcleo donde la revolución originalmente cobró forma y a partir del cual se difundió por todo el mundo (algunas veces incluso concentrándose en una región particular, como el caso de Manchester –en buena medida la cuna y el símbolo de la Era del Vapor–, de la misma manera que Silicon Valley lo ha sido para la revolución de la microelectrónica).

Lo que distingue una revolución tecnológica de un conjunto aleatorio de sistemas tecnológicos, justificando su conceptualización como una *revolución*, son dos rasgos básicos:

- La fuerte interconexión e interdependencia de los sistemas participantes en cuanto a sus tecnologías y mercados.

- Su capacidad para transformar profundamente el resto de la economía (y eventualmente la sociedad).

El primero es el más visible y define lo que comúnmente se entiende como "la revolución", pero el segundo es lo que justifica realmente el término. La capacidad de una revolución tecnológica para transformar otras industrias y actividades es resultado de la influencia de su *paradigma tecnoeconómico*,[3] un modelo de prácticas óptimas para la forma más efectiva de usar las nuevas tecnologías tanto en las industrias nuevas como en las otras. Mientras que los nuevos sectores se expanden para convertirse en los motores del crecimiento por largo tiempo, el paradigma tecnoeconómico que resulta de su uso sirve de guía para una gran reorganización y una elevación generalizada de la productividad en todas las industrias preexistentes.

Cuadro 1. Cinco revoluciones tecnológicas sucesivas: de 1770 a los años 2000

Revolución tecnológica	Nombre popular de la época	País o países núcleo	*Big-bang* que inicia la revolución	Año
Primera	Revolución Industrial	Inglaterra	Hilandería de algodón de Arkwright en Cromford.	1771
Segunda	Era del Vapor y los Ferrocarriles	Inglaterra (difundiéndose hacia Europa y Estados Unidos)	Prueba del motor a vapor Rocket para el ferrocarril Liverpool-Manchester.	1829
Tercera	Era del Acero, la Electricidad y la Ingeniería Pesada	Estados Unidos y Alemania sobrepasando a Inglaterra	Inauguracion de la acería Bessemer de Carnegie en Pittsburgh, Pennsylvania.	1875
Cuarta	Era del Petróleo, el Automóvil y la Producción en Masa	Estados Unidos (rivalizando con Alemania por el liderazgo mundial) Difusión hacia Europa	Salida del primer modelo-T de la planta Ford en Detroit, Michigan.	1908
Quinta	Era de la Informática y las Telecomunicaciones	Estados Unidos (difundiéndose hacia Europa y Asia)	Anuncio del microprocesador Intel en Santa Clara, California.	1971

3 El término *paradigma tecnoeconómico* fue introducido por Pérez (1985) –en reemplazo del de *estilo tecnológico* usado anteriormente (1983)– para conectar con el concepto de paradigma técnico de Dosi (1982).

Por ello, una revolución tecnológica puede ser vista como una gran transformación del potencial de creación de riqueza de la economía, que abre un vasto espacio de oportunidad proporcionando un nuevo conjunto de tecnologías genéricas interrelacionadas, infraestructuras y principios organizativos, con los cuales se pueden aumentar significativamente la eficiencia y la efectividad de todas las industrias y actividades.

El proceso de difusión de las revoluciones tecnológicas sucesivas y sus paradigmas tecnoeconómicos –junto con su asimilación por parte de la economía y la sociedad, con los aumentos en la productividad y la expansión resultante– constituyen lo que puede denominarse una *gran oleada de desarrollo* (Pérez, 2002: 20-21).

Es de notar que el concepto de grandes oleadas marca una ruptura con las nociones de *ondas largas* tanto de Kondratiev como de Schumpeter (Kondratiev, 1935; Schumpeter, 1982).[4] Para ellos, el centro de atención eran las grandes fluctuaciones en el crecimiento económico. Aunque Schumpeter claramente atribuye las ondas a las revoluciones tecnológicas y Kondratiev no se compromete con ningún factor causal particular, ambos intentan explicar las variaciones de largo plazo en el producto bruto interno (PBI) y otros agregados económicos. Lo que la autora propone (2002: 60-67; edición 2004 en castellano: 94-102) es más bien concentrar la atención en la explicación del proceso de difusión de cada revolución tecnológica y sus efectos transformadores en todos los aspectos de la economía y la sociedad, incluyendo entre ellos su impacto sobre los ritmos de crecimiento económico. Esta reorientación ha dado como resultado diferencias en cuanto a las fechas de las oleadas (en relación con las de las ondas largas tradicionales) y la identificación de un conjunto diferente de regularidades en los patrones de difusión, los cuales son el objeto de la discusión que sigue.

La estructura de las revoluciones tecnológicas

La interconexión de las tecnologías de una revolución se produce en distintos niveles.

4 Para una selección de los principales autores sobre las ondas largas (tanto desde la economía evolucionista como desde otras escuelas de pensamiento), ver Freeman, 1996; y para una colección de tratamientos estadísticos de lo mismo ver Louçã y Reijnders, 1999.

- Se relacionan con las mismas áreas de conocimiento en ciencia y tecnología y usan principios de ingeniería similares.
- Requieren habilidades semejantes para su diseño y operación, las cuales suelen ser nuevas.
- Estimulan el desarrollo aguas arriba de una red común de proveedores de insumos y servicios así como canales de distribución interdependientes.
- Su dinamismo depende del impulso mutuo mediante vínculos muy fuertes, siendo con frecuencia las unas el mercado principal de las otras (mientras más crecimiento e innovación haya en los computadores, mayor crecimiento e innovación habrá en los semiconductores y viceversa).
- Su difusión genera patrones coherentes de consumo y uso, de tal forma que el aprendizaje dentro de un sistema facilita el aprendizaje en el siguiente, y la instalación de condiciones para el uso de un conjunto de productos se convierte en una externalidad para el siguiente (una vez que la electricidad llegó a los hogares para la iluminación y la refrigeración se facilitó la adopción de los radios y las aspiradoras).

Una revolución tecnológica básicamente introduce nuevos sectores completos en la tabla insumo-producto, y estos gradualmente se convierten en los más dinámicos (y terminan por modificar el resto).

En términos de estructura, cada revolución da lugar al surgimiento de industrias nuevas e importantes asociadas a un número significativo de nuevas tecnologías de producción y nuevos productos interrelacionados. Entre ellos suele encontrarse un insumo clave barato y común a todas (a veces una fuente de energía, otras un material crucial) y una o más infraestructuras nuevas. Estas infraestructuras cambian la frontera y las condiciones de las redes de transporte –para productos, personas, energía e información– extendiendo su alcance y aumentando su velocidad y confiabilidad, al mismo tiempo que reducen drásticamente su costo.

Cuadro 2. Cinco revoluciones tecnológicas: sus principales industrias e infraestructuras

Revolución tecnológica ***País núcleo***	**Nuevas tecnologías e industrias nuevas o redefinidas**	**Infraestructuras nuevas o redefinidas**
Primera: Desde 1771 *Revolución Industrial* Inglaterra	Mecanización de la industria del algodón Hierro forjado Maquinaria	Canales y vías fluviales. Carreteras con peaje. Energía hidráulica (con molinos de agua muy mejorados).
Segunda: Desde 1829 *Era del Vapor y los Ferrocarriles* Inglaterra (difundiéndose hacia Europa y Estados Unidos)	Máquinas de vapor y maquinaria (de hierro, movida con carbón) Hierro y minería del carbón (ahora con un rol central en el crecimiento) Construcción de ferrocarriles Producción de locomotoras y vagones Energía de vapor para numerosas industrias (incluyendo la textil).	Ferrocarriles (uso del motor a vapor). Servicio postal de plena cobertura. Telégrafo (sobre todo nacional, a lo largo de las líneas de ferrocarril). Grandes puertos, grandes depósitos y grandes barcos para la navegación mundial. Gas urbano.
Tercera: Desde 1875 *Era del Acero, la Electricidad y la Ingeniería Pesada* Estados Unidos y Alemania sobrepasando a Inglaterra	Acero barato (especialmente Bessemer) Pleno desarrollo del motor a vapor para barcos de acero Ingeniería pesada química y civil Industria de equipos eléctricos Cobre y cables Alimentos enlatados y embotellados Papel y empaques	Navegación mundial en veloces barcos de acero (uso del Canal de Suez). Redes transnacionales de ferrocarril (uso de acero barato para la fabricación de rieles y pernos de tamaño estándar). Grandes puentes y túneles. Telégrafo mundial. Teléfono (sobre todo nacional). Redes eléctricas (para iluminación y uso industrial).
Cuarta: Desde 1908 *Era del Petróleo, el Automóvil y la Producción en Masa* Estados Unidos (rivalizando con Alemania por el liderazgo mundial; difusión hacia Europa)	Producción en masa de automóviles Petróleo barato y sus derivados Petroquímica (sintéticos) Motor de combustión interna para automóviles, transporte de carga, tractores, aviones, tanques de guerra y generación eléctrica	Redes de caminos, autopistas, puertos y aeropuertos. Redes de oleoductos. Electricidad de plena cobertura (industrial y doméstica). Telecomunicación analógica mundial (para teléfono, télex y cablegramas) alámbrica e inalámbrica.
Quinta: *Era de la Informática y las Telecomunicaciones* Estados Unidos (difundiéndose hacia Europa y Asia)	La revolución de la información: Microelectrónica barata Computadoras, software Telecomunicaciones Instrumentos de control Desarrollo por computadora de biotecnología y nuevos materiales	Comunicación digital mundial (cable, fibra óptica, radio y satélite). Internet, correo y otros servicios electrónicos. Redes eléctricas de fuentes múltiples y de uso flexible. Transporte físico de alta velocidad (por tierra, mar y aire).

Fuente: Pérez (2002).

El cuadro 2 indica las principales industrias e infraestructuras de cada una de las cinco revoluciones tecnológicas producidas desde la Revolución industrial a finales del siglo XVIII.

Desde el punto de vista del rol que juegan impulsando el cambio, las industrias núcleo de cada revolución se pueden agrupar en tres categorías principales (Pérez, 1983):

- Las *ramas motrices*, productoras de los insumos clave de uso casi universal: los semiconductores ahora, el petróleo barato y los plásticos en la oleada anterior, el acero barato en la tercera, el carbón en la segunda y la energía hidráulica (para molinos de agua y transporte por canales) en la primera.[5]
- Las *ramas vectoras* son las usuarias más visibles y activas del insumo clave, y representan los productos paradigmáticos de la revolución. Estas son las ramas que difunden "la noticia" sobre las nuevas oportunidades: los computadores, los programas (software) y los teléfonos móviles hoy; los automóviles y artefactos eléctricos en la cuarta, los vapores de acero en la tercera, los ferrocarriles de hierro con motores a vapor en la segunda y la maquinaria textil en la primera.
- Las *infraestructuras*, que tecnológicamente forman parte de la revolución, dejan sentir su impacto definiendo y expandiendo las fronteras del mercado para todas las industrias: la Internet hoy, las carreteras y la electricidad en la cuarta, la red mundial de transporte en la tercera (ferrocarriles transcontinentales, rutas y puertos para los vapores), los ferrocarriles nacionales en la segunda, y los canales en la primera.

A estas ramas se puede añadir una cuarta categoría de *ramas inducidas*, a fin de incorporar un conjunto de industrias no necesariamente revolucionarias en términos tecnológicos, que podrían ser consideradas indispensables para facilitar la máxima difusión de las industrias núcleo. Estas pueden haber existido desde antes pero ahora se modernizan y asumen un rol distinto. Este es el caso de la industria de la construcción que hizo posible la suburbanización de la clase media durante la oleada de la producción en masa. La multiplicación de las viviendas en las

5 Para la discusión acerca del rol de los molinos de agua en la revolución industrial, ver Tylecote, 1992.

afueras de las ciudades expandió constantemente el mercado de automóviles y de artefactos eléctricos, al mismo tiempo que creó un sistema tecnológico completo de materiales de construcción estandarizados y muchos otros proveedores de bienes y servicios para la construcción y la vida suburbana. En el mundo actual de comercio globalizado y compras por internet, los servicios de *courier* están jugando un rol similar –y todos los demás sistemas de transporte de bienes– experimentando un crecimiento explosivo y profundas transformaciones para facilitar la compleja logística global y local.

El surgimiento de un paradigma tecnoeconómico

Cualquiera sea la importancia y dinamismo de un conjunto de tecnologías nuevas, solo merece el nombre de *revolución* cuando tiene el poder de traer consigo una transformación en toda la economía. El *paradigma tecnoeconómico* (PTE) que se va articulando mediante el uso de las nuevas tecnologías a medida que estas se van difundiendo, es lo que multiplica su impacto en toda la economía y, eventualmente, modifica también la manera como se organizan las estructuras socioinstitucionales.

Un metaparadigma[6] es, entonces, el conjunto de las prácticas más exitosas y rentables en términos de preferencia de insumos, métodos y tecnologías, así como de estructuras organizativas, modelos y estrategias de negocios. Estas prácticas mutuamente compatibles, que se convierten en principios implícitos y criterios para tomar decisiones, se desarrollan en el proceso de utilización de las nuevas tecnologías, en la superación de los obstáculos y selección de los procedimientos, rutinas y estructuras más adecuadas. Las rutinas heurísticas y los enfoques emergentes son gradualmente incorporados por los ingenieros y gerentes, inversionistas y banqueros, vendedores y publicistas, emprendedores y consumidores. Con el tiempo se establece una lógica común, se acepta un nuevo "sentido común" para decidir sobre las inversiones así como también en las preferencias del consumidor. Las viejas ideas se "des-aprenden" y las nuevas se vuelven "normales".

Las estructuras piramidales extraordinariamente eficientes, con roles y tareas claramente definidos, que facilitaron el crecimiento y la

6 Para evitar repeticiones desagradables, *metaparadigma* será usado como sinónimo de *paradigma tecnoeconómico* o PTE.

innovación en el paradigma de la producción en masa durante los años cincuenta ahora parecen dinosaurios burocráticos, comparados con las redes globales dinámicas interconectadas digitalmente, y el personal multitarea de altos niveles de autonomía, propios del paradigma de la producción flexible de la Revolución informática actual. La maravilla del teléfono con cable para hablar a distancia se convierte en una pieza de museo ahora que los consumidores pueden normalmente contar con dispositivos inalámbricos multipropósito para todas las necesidades de comunicación, información y entretenimiento.

La construcción de un paradigma tecnoeconómico tiene lugar simultáneamente en tres áreas principales de la práctica y la percepción:

- *En la dinámica de la estructura de costos relativos* de los insumos para la producción, en ella aparecen nuevos elementos de costo bajo y decreciente, que se convierten en la opción más atractiva para la innovación y la inversión rentables.
- *En los espacios de innovación percibidos*, en ellos las oportunidades para el emprendimiento están delimitadas con mayor nitidez para el desarrollo ulterior de las nuevas tecnologías o para su uso ventajoso en los sectores existentes.
- *En los criterios y principios organizativos,* en ellos la práctica continúa mostrando el mejor desempeño de ciertos métodos y estructuras particulares cuando se intenta aprovechar el poder de las nuevas tecnologías para alcanzar el máximo de eficiencia y beneficios.

En estas tres áreas, la manifestación del paradigma depende del ritmo de difusión de los productos, tecnologías e infraestructuras revolucionarios mediante lazos de retroalimentación que se autorrefuerzan. Al comienzo el impacto es localizado y de poca relevancia, con el tiempo se amplía generalizándose en todas las direcciones. Los cambios se producen en la tecnología y el territorio, en los comportamientos y las ideas. El paradigma y sus nuevos criterios de sentido común se integran, actuando como inductores y filtros en el proceso de realizar innovaciones técnicas, organizativas y estratégicas, así como en las decisiones de negocios y de consumo. El proceso se autorrefuerza a medida que la ulterior propagación y adopción de las nuevas tecnologías confirma, en la práctica, el acierto de los principios compartidos.

Cambios en la estructura de costos

La nueva dinámica introducida en la estructura de costos relativos es un importante motor para el surgimiento de un nuevo paradigma tecnoeconómico. De hecho, un elemento crucial para la articulación de una constelación revolucionaria es la aparición de un insumo clave que i) es barato y se abarata cada vez más, ii) es inagotable en el futuro previsible, iii) tiene aplicaciones generalizadas y iv) es capaz de aumentar el poder de creación de riqueza tanto del capital como del trabajo y disminuir su costo.

Esto ocurrió con la energía hidráulica barata para molinos y canales en la primera revolución; con el carbón barato para ferrocarriles y máquinas de vapor de la segunda; con el acero barato para vapores, ferrocarriles, puentes y estructuras gigantescas, así como grandes equipamientos químicos y eléctricos de la tercera; con el petróleo barato para motores de combustión interna en automóviles, camiones, aviones y barcos al igual que la producción de electricidad para hogares equipados con electrodomésticos y, finalmente, de la quinta revolución actual, con los microprocesadores baratos para computadores y equipos de telecomunicaciones.

La ventaja creciente en costos de la nueva infraestructura modifica también radicalmente el perfil general de precios. Esto ocurre de dos maneras: directamente a través de la reducción de los precios de transporte (a medida que el volumen de operaciones provoca la reducción del costo por unidad); e indirectamente, gracias a que la ampliación del mercado usuario permite mayores economías de escala en producción y distribución. De manera que la dirección preferida por la innovación está ya sugerida por el perfil de costos relativos de los insumos y el transporte, lo cual forma parte del metaparadigma.

La famosa cerámica Wedgewood no habría ido muy lejos de haber sido transportada a lomo de mula por carreteras de superficie irregular; pero pudo llegar a todo el mundo transportada por vía acuática de río a canal, de canal a río y, eventualmente, por mar abierto.

Percepción de espacios de oportunidad

La otra forma como el metaparadigma señala la mejor dirección para la inversión y la innovación es contribuyendo a la percepción de los espacios de oportunidad de mayor rentabilidad. Estos se definen cada vez con mayor claridad a medida que las tecnologías se propagan y multiplican,

y son de dos tipos principales: espacios de oportunidad en la producción misma de nuevas tecnologías o en su utilización productiva.

En el núcleo de la revolución se encuentran los principios básicos de ciencia e ingeniería que abren un nuevo universo de posibilidades. El dinamismo de la innovación en estos espacios de oportunidad está motorizado desde adentro y las industrias que operan en ellos se refuerzan mutuamente. Sin embargo, su evolución constante crea nuevos espacios para la innovación en el resto de la economía gracias a las tecnologías genéricas de amplia aplicabilidad que cada revolución proporciona. Las nuevas infraestructuras son las tecnologías genéricas más obvias y de más amplia utilización; las otras son los nuevos tipos de materiales y equipos que se introducen en el contexto operacional de todas las demás industrias.

En términos de infraestructura, el rol actual de internet en la gran redefinición de las estructuras y los comportamientos, tanto en el mundo financiero como en el comercio, no necesita ser recordada. En la cuarta oleada las redes de carreteras y electricidad hasta los hogares hicieron posible la gran expansión de la suburbanización.

Equipos como el motor a vapor, en la segunda oleada, liberaron a la industria de la necesidad de ubicarse cerca de una fuente de energía hidráulica. A su vez, el motor eléctrico individual, en la tercera, permitió a la industria liberarse de la maraña de correas y de la operación simultánea de todas las máquinas; también hizo posible la proliferación de empresas pequeñas basadas en energía eléctrica.

En cuanto a los materiales, la trayectoria molecular de la innovación –similar a los juguetes Lego– en el sistema tecnológico petroquímico abrió una gama cada vez mayor de oportunidades de aplicación en todo el ámbito de la economía, desde los plásticos sucesivos para empacado o estructuras, pasando por fibras textiles y fertilizantes, hasta los detergentes y la industria farmacéutica de la cuarta oleada.

Nuevos modelos organizativos

Por último, los PTE reúnen los criterios de óptima práctica organizativa. A medida que las nuevas tecnologías transforman los patrones de trabajo y consumo, también transforman la manera como se organizan las fábricas y los negocios. Los nuevos principios organizativos se van construyendo a medida que se utilizan las nuevas tecnologías y se enfrentan

las nuevas condiciones del mercado. Dichos principios van mostrando su superioridad en relación con los anteriores y van articulando el nuevo sentido común para la eficiencia y la efectividad.

En la segunda oleada, por ejemplo, el servicio de correo de bajo costo fijo (*penny post*), el telégrafo y los ferrocarriles a escala nacional cambiaron la estructura de la banca, permitiéndole pasar de entes aislados a redes nacionales con sucursales locales. Hasta los ferrocarriles se convirtieron en enormes estructuras de negocios que requerían lo que para entonces eran las innovaciones organizativas y la logística más avanzada para la gestión de sistemas complejos.

En la cuarta oleada, siguiendo el ejemplo de Ford, la línea de ensamblaje de principios tayloristas fue aceptada ampliamente y ello transformó profundamente la organización de los productos manufacturados. La separación clara entre trabajadores de cuello blanco y trabajadores de cuello azul –entre quienes pensaban y quienes ejecutaban–, tuvo consecuencias que trascendieron los límites de la fábrica, al igual que la creciente productividad alcanzada con esa forma organizativa. La reducción de la fuerza de trabajo realizada por Ford, al mismo tiempo que más que duplicaba el salario medio, junto con su consigna de que los autos debían ser económicos para que sus obreros pudiesen adquirirlos fueron un abreboca del potencial para la transformación social por venir.

En cada caso, el cambio de paradigma en la lógica organizativa y de negocios se difunde modificando tanto los modelos como las estrategias de negocios, de manera que las más compatibles con la lógica general del nuevo paradigma demuestran ser más exitosas, llaman la atención, y son cada vez más imitadas. De ahí que el PTE se enriquezca cada vez más y el proceso se autorrefuerce.

Por supuesto, también hay procesos propagados intencionalmente. En las primeras oleadas en Inglaterra hubo redes de ingenieros que compartieron los nuevos conocimientos y experiencias (mientras competían por contratos). En la cuarta oleada, la transmisión del modelo completo con todos sus principios y prácticas se convirtió en la actividad profesional de cientos de consultores de gerencia científica (o taylorismo). En la oleada actual la consultoría gerencial ha florecido como un sector económico plenamente desarrollado, cambiando profundamente los contenidos de los cursos avanzados de gerencia (*MBA*) diseñados bajo el paradigma anterior.

Cuadro 3. Las cinco grandes oleadas de desarrollo y sus paradigmas tecnoeconómicos

Revolución tecnológica	*Paradigma tecnoeconómico* *Principios de "sentido común" para la innovación*
Primera: *Revolución Industrial*	Producción en fábricas Mecanización Productividad/Medición y ahorro de tiempo Fluidez de movimientos (como meta ideal para máquinas movidas por energía hidráulica y para el transporte por canales y otras vías acuáticas) Redes locales
Segunda: *Era del Vapor y los Ferrocarriles*	Economías de aglomeración; ciudades industriales; mercados nacionales Centros de poder con redes nacionales La gran escala como progreso Partes estandarizadas; máquinas para fabricar máquinas Energía donde se necesite (vapor) Movimiento interdependiente (de máquinas y medios de transporte)
Tercera: *Era del Acero, la Electricidad y la Ingeniería Pesada*	Estructuras gigantescas (acero) Economías de escala en planta; integración vertical Distribución de energía para la industria (electricidad) La ciencia como fuerza productiva Redes e imperios mundiales (incluyendo cárteles) Estandarización universal Contabilidad de costos para control y eficiencia Grandes escalas para dominar el mercado mundial; lo "pequeño" es exitoso si es local
Cuarta: *Era del Petróleo, el Automóvil y la Producción en Masa*	Producción en masa; mercados masivos Economías de escala (volumen de producción y mercado); integración horizontal Estandarización de productos Uso intensivo de la energía (con base en el petróleo) Materiales sintéticos Especialización funcional/Pirámides jerárquicas Centralización; centros metropolitanos; suburbanización Poderes nacionales, acuerdos y confrontaciones mundiales
Quinta: *Era de la Informática y las Telecomunicaciones*	Uso intensivo de la información (con base en la microelectrónica TIC) Integración descentraliza; estructuras en red El conocimiento como capital; valor añadido intangible Heterogeneidad, diversidad, adaptabilidad Segmentación de mercados; proliferación de nichos Economías de cobertura y de especialización combinadas con escala Globalización; interacción entre lo global y lo local Cooperación hacia adentro y hacia afuera; clústeres Contacto y acción instantáneos; comunicación global instantánea

Fuente: Basado en Pérez (2002: 14).

El cuadro 3 ofrece algunos de los principios de innovación más destacados que han caracterizado cada uno de los paradigmas tecnoeconómicos sucesivos.

Un paradigma tecnoeconómico es, entonces, el resultado de un complejo proceso de aprendizaje colectivo articulado en un modelo mental dinámico de prácticas óptimas económicas, tecnológicas y organizativas para el período durante el cual una revolución tecnológica específica es adoptada y asimilada por el sistema económico y social. Cada PTE combina un conjunto compartido de percepciones, prácticas y direcciones de cambio. Su adopción permite alcanzar el máximo de eficiencia y rentabilidad, y su difusión facilita la comprensión mutua entre los diferentes agentes que participan en la economía, desde los productores hasta los consumidores.

Un paradigma tecnoeconómico es, entonces, el resultado de un complejo proceso de aprendizaje colectivo articulado en un modelo mental dinámico de prácticas óptimas económicas, tecnológicas y organizativas para el período durante el cual una revolución tecnológica específica es adoptada y asimilada por el sistema económico y social.

Difusión, resistencia y asimilación de paradigmas tecnoeconómicos sucesivos

Es de notar que algunos de los principios indicados en el cuadro 3 se prolongan más allá de la economía hasta tocar las esferas sociales e institucionales. La suburbanización en la cuarta oleada y la globalización en la quinta son ejemplos de ello.

En realidad, los principios organizativos de sentido común para alcanzar la máxima eficiencia y efectividad incorporados en el paradigma tecnoeconómico se difunden gradualmente hacia el mundo de los negocios, el gobierno y otras instituciones sin fines de lucro. Los manuales de operación y estructuras jerárquicas de los ministerios durante los años sesenta eran, en lo fundamental, similares a los de las grandes corporaciones de producción en masa. Sin embargo, actualmente esos dos tipos de instituciones son muy diferentes. Los cambios que han venido ocurriendo en la estructura de las empresas y organizaciones desde la irrupción de la revolución informática en los años setenta las ha cambiado radicalmente hasta convertirlas en las actuales corporaciones (cada

vez más globalizadas) flexibles y organizadas en red. Pero el proceso de incorporación de esos modelos más efectivos en las instituciones públicas ha sido lento y dista de estar plenamente establecido. Esto no debe sorprender. La inercia organizativa es un fenómeno humano y social de resistencia al cambio bien conocido. En la economía de mercado, sin embargo, el mecanismo de superación de la inercia es la competencia, la cual, al mostrar la dirección del éxito sirve como guía para la incorporación de las prácticas óptimas y como amenaza a la supervivencia de los rezagados. Ese tipo de presión y direccionalidad no está presente en la mayoría de las instituciones públicas. Históricamente, entonces, estas han estado considerablemente rezagadas (típicamente por veinte a treinta años) y solo han imitado los principios paradigmáticos desarrollados en las empresas cuando se han visto forzadas a responder a las presiones políticas que exigen efectividad.

Incluso bajo presión de la competencia, los cambios profundos y amplios que cada revolución tecnológica y su paradigma hacen posibles son asimilados con dificultad en la economía. La fuerte resistencia resultante requiere mecanismos aún más fuertes para inducir el cambio. Es la generación más joven, la que nunca aprendió las prácticas del paradigma anterior, la que adopta y aplica los nuevos principios más naturalmente.

Eventualmente el nuevo PTE se convierte en el "sentido común" compartido, establecido e incuestionable tanto en la economía como en el marco socioinstitucional, creando un sesgo claro a favor de las trayectorias de las tecnologías de la revolución y su utilización a través de toda la economía. Esta adaptación genera externalidades que operan como un mecanismo de inclusión-exclusión para estimular las innovaciones compatibles y desestimular las incompatibles. Esto es una parte importante de la explicación de por qué el cambio ocurre por revoluciones. Por lo tanto, los paradigmas tecnoeconómicos actúan moldeando el contexto a favor de una revolución y –mediante la sobreadaptación– como impedimento y obstáculo para la siguiente.

Por ello, cada *gran oleada de desarrollo* supone un proceso turbulento de difusión y asimilación. Las grandes industrias establecidas son reemplazadas en su rol de motores del crecimiento por las nuevas industrias emergentes; las tecnologías establecidas se vuelven obsoletas y se transforman gracias a las nuevas; muchas de las habilidades para el trabajo y la gerencia exitosa del pasado se vuelven anticuadas e ineficientes, requiriendo procesos de desaprendizaje, aprendizaje y reaprendizaje. Estos cambios en la economía perturban en extremo el *statu quo* social y

en cada caso han acompañado el crecimiento explosivo de nueva riqueza con una fuerte tendencia a la polarización del ingreso. Estos y otros desequilibrios y tensiones que resultan de la disrupción tecnológica –incluyendo una gran burbuja financiera y su colapso (Pérez, 2009)– terminan por crear condiciones que exigen una transformación igualmente profunda de todo el marco institucional. Solo cuando esto se ha logrado y el contexto habilitador se ha establecido puede desplegarse todo el potencial de creación de riqueza de cada revolución.[7]

A modo de síntesis: regularidades, continuidades y discontinuidades del cambio técnico

Dentro de las áreas de investigación neoschumpeteriana, la innovación abarca un importante espacio que cubre su dinámica, sus tendencias sistémicas (*clustering*) y sus interrelaciones. Los estudios de la innovación han mostrado que la introducción del cambio técnico no es azarosa sino que depende del rumbo previo (*path dependent*) e interactúa con innovaciones agrupadas en sistemas, las cuales, a su vez, se interconectan en revoluciones.

Aunque la innovación es constante en la economía de mercado, no siempre es continua. Presenta cambios de ritmo, que tienden a seguir una curva logística, influenciados por el ciclo del sistema tecnológico en el que están inmersos. Hay discontinuidades con frecuencia estimuladas por la restricción de posibilidades a lo largo de una trayectoria particular, cuando la productividad y los mercados se aproximan al agotamiento. Para capturar estas combinaciones de regularidades y discontinuidades, los neoschumpeterianos han introducido los conceptos de *trayectorias tecnológicas*, *sistemas tecnológicos*, *revoluciones tecnológicas*, *paradigmas tecnoeconómicos* y *grandes oleadas de desarrollo.*

Las *trayectorias tecnológicas* de los productos particulares se agrupan en *sistemas tecnológicos* y estos a su vez se agrupan en *revoluciones*; las trayectorias dentro de un sistema se imbrican generando externalidades y mercados mutuos, influenciando así la dirección de la innovación ulterior. Las *revoluciones tecnológicas* son grupos de sistemas interrelacionados que solo merecen llamarse "revoluciones" porque su impacto desborda

7 En Pérez (2002) hay una discusión amplia del proceso de difusión y asimilación de las revoluciones tecnológicas y los PTE así como del rol crucial de los dos agentes complementarios de la innovación y el crecimiento: el capital financiero y el capital productivo.

los límites de las nuevas industrias que introducen. La transformación termina alcanzando toda la economía, elevando el nivel general de productividad potencial, modernizando las industrias maduras y abriendo nuevas trayectorias de innovación, no solo en las nuevas tecnologías, sino también en el rejuvenecimiento de todas las demás industrias y actividades. El proceso de difusión de estos cambios masivos y sus efectos económicos y sociales constituyen una *gran oleada de desarrollo*.

El vehículo de ese cambio de vasto alcance en la dirección de la innovación es el *paradigma tecnoeconómico*, el cual es un modelo de práctica óptima que emerge gradualmente de la experiencia con la aplicación de las nuevas tecnologías, indicando la mejor, más efectiva y rentable manera de hacer uso del nuevo potencial de innovación. Cada PTE articula un conjunto básico de principios que sirven como envoltorio al conjunto de trayectorias tecnológicas particulares, indicando la dirección preferente compartida. El PTE se propaga junto con las nuevas tecnologías produciendo la oleada de desarrollo. Su influencia se expande desde la esfera de los negocios hasta las instituciones y la sociedad de manera que, a medida que su adopción avanza, se convierte en el sentido común compartido para tomar decisiones gerenciales, de ingeniería, finanzas, comercio y consumo. Esta nueva lógica y su capacidad para aumentar la efectividad y eficiencia eventualmente moldean también las instituciones y la organización social, las expectativas y los comportamientos.

La adaptación mutua de la tecnología y la sociedad mediante el aprendizaje social del paradigma y la adaptación del marco institucional permiten cosechar el máximo beneficio del potencial de creación de riqueza contenido en cada oleada. Pero, cuando este potencial se ha agotado y una nueva revolución comienza a aparecer, los hábitos e instituciones establecidos actúan como una poderosa fuerza inercial cuya superación será necesaria para posibilitar la próxima oleada.

Esta visión de la influencia del cambio técnico sobre el crecimiento económico de largo plazo es una de las contribuciones clave de la economía evolucionista a la comprensión de la macroeconomía considerada en su dinámica y en tanto moldeada históricamente. Ello hace imposible ignorar la revolución tecnológica específica que se está difundiendo e identificar la etapa de difusión en que se encuentra.

En el nivel de abstracción en el cual se estudian los procesos de crecimiento no habría por qué ignorar la naturaleza del conjunto particular de tecnologías en proceso de propagación. La suburbanización no hubiera sido posible sin la producción en masa y sin el cambio al automóvil

como medio de transporte; la globalización no hubiera podido ocurrir sin la fibra óptica transoceánica, los satélites e internet.

Dada la visión presentada aquí, hay que descartar las nociones de equilibrio a largo plazo y de progreso continuo a favor de procesos más complejos de superación de los desequilibrios originados por la innovación masiva. Dichos procesos incluyen la diferenciación entre empresas dentro cada industria y entre sectores, la destrucción creadora, la asimilación y el aprendizaje y desaprendizaje de espacios tecnológicos y nuevos modelos de práctica óptima, al igual que la eventual e inevitable llegada de la madurez y su superación por oleadas de cambio sucesivas. Los ritmos cambiantes del crecimiento y los procesos de cambio estructural y aumento de la productividad en la economía pueden entenderse ahora como motorizados por cambios técnicos identificables y como moldeados por la difusión de revoluciones tecnológicas sucesivas.

Tomadas en conjunto, las visiones micro, meso y macro acerca de cómo evolucionan las tecnologías muestran que es posible reconocer la naturaleza de la tecnología, sus formas de evolución y sus interrelaciones como objeto de análisis de la ciencia social y como una forma de incorporar la teoría económica a la dinámica de su interacción con la tecnología y las instituciones en un contexto histórico cambiante.

Ignorar el potente rol y la influencia del cambio técnico e institucional sobre la economía, reduce la capacidad analítica de la ciencia económica. Incorporarlos en una aproximación a la dinámica histórica es una tarea importante para elevar el poder tanto explicativo como predictivo de dicha ciencia. Los economistas evolucionistas y neoschumpeterianos han sido pioneros en la exploración y descripción de ese nuevo territorio.

Bibliografía

Arocena, Rodrigo y Sutz, Judith (2000). "Looking at national systems of innovation from the South". *Industry and Innovation*, vol. 7, nº 1, pp. 55-75.

Arthur, W. Brian (1988). "Competing technologies: an overview". En Dosi, Giovanni; Freeman, Christopher; Nelson, Richard; Silverberg, Gerald y Soete, Luc (eds.), *Technical Change and Economic Theory*, pp. 590-607. Londres y Nueva York: Columbia University Press y Pinter.

Dosi, Giovanni (1982). "Technical paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants of technical change". *Research Policy*, vol. 2, nº 3, pp. 147-62.

Dosi, Giovanni; Freeman, Christopher; Nelson, Richard; Silverberg, Gerald y Soete, Luc (eds.) (1988). *Technical Change and Economic Theory*. Londres y Nueva York: Columbia University Press y Pinter.

Enos, John L. (1962). "Invention and innovation in the petroleum refining industry". En NBER, *The Rate and Direction of Inventive Activity*. Princeton: Princeton University Press.

Freeman, Christopher (1974). *The Economics of Industrial Innovation*. Harmondsworth, Middlesex: Penguin Books.

——— (1987). *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. Londres: Pinter.

——— (1992). *The Economics of Hope*. Londres: Pinter.

——— (1994). "The Economics of technical change". *Cambridge Journal of Economics*, vol. 18, nº 5, pp. 463-514.

——— (1995). "The 'National System of Innovation' in historical perspective". *Cambridge Journal of Economics*, vol. 19, nº 1, pp. 5-24.

——— (1996). *Long Wave Theory*, ILCWE nº 69. Cheltenham: Elgar.

Grübler, Arnulf (1990). *The Rise and Fall of Infrastructures*. Heidelberg y Nueva York: Physica-Verlag.

Howells, Jeremy (1999). "Regional systems of innovation?". En Archibugi, Daniele; Howells, Jeremy y Michie, Jonathan (eds.), *Innovation Policy in a Global Economy*, cap. 5, pp. 67-93. Cambridge: Cambridge University Press.

Kondratieff, Nikolai D. (1935). "The Long waves in economic life". *Review of Economic Statistics*, nº 17, pp. 105-15.

Kuhn, Thomas (1970 [1962]). *The Structure of Scientific Revolutions*, 2ª edición (ampliada). Chicago: University of Chicago Press.

List, Friedrich (1904 [1841]). *The National System of Political Economy*. Londres: Longman.

Louça, Francisco y Reijnders, Jan (eds.) (1999). *The Foundations of Long Wave Theory: Models and Methodology*, ILCWE nº 104. Cheltenham: Elgar.

Lundvall, Bengt-Åke (1988). "Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation". En Dosi, Giovanni; Freeman, Christopher; Nelson, Richard; Silverberg, Gerald y Soete, Luc (eds.), *Technical Change and Economic Theory*.), cap. 17. Londres y Nueva York: Columbia University Press y Pinter.

Malerba, Franco (2002). "Sectoral systems of innovation and production". *Research Policy*, vol. 31, nº 2, pp. 247-264.

Metcalfe, Stan J. (2001). "Restless capitalism: increasing returns and growth in enterprise economies". En Bartzokas, Anthony (ed.), *Industrial Structure and Innovation Dynamics*. Cheltenham: Elgar.

Nelson, Richard y Winter, Sidney (1977). "In Search of a useful theory of innovation". *Research Policy*, vol. 6, nº 1, pp. 36-76.

Pérez, Carlota (1983). "Structural change and the assimilation of new technologies in the economic and social systems". *Futures*, vol. 15, nº 5, pp. 357-75. [En castellano: "Cambio estructural y asimilación de nuevas tecnologías en el sistema económico y social". Disponible en: http://www.carlotaperez.org/downloads/pubs/Futures_1983_cast.pdf].

——— (1985). "Microelectronics, long waves and world structural change: new perspectives for developing countries". *World Development*, vol. 13, nº 3, pp. 441-463. [En castellano: "Microelectrónica, ondas largas y cambio estructural mundial. Nuevas perspectivas para los países en desarrollo". Disponible en: http://www.carlotaperez.org/downloads/pubs/World_Dev_castell.pdf].

——— (2002). *Technological Revolutions and Financial Capital: the Dynamics of Bubbles and Golden Ages*. Cheltenham: Elgar. [Edición en castellano: Pérez, Carlota (2004). *Revoluciones Tecnológicas y Capital Financiero. La dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza*. México: Siglo XXI].

——— (2007). "Finance and technical change: a long-term view". En Hanusch, H. y Pyka, A. (eds.), *Elgar Companion to Neo-Schumpeterian Economics*, cap. 49, pp. 775-99. Cheltenham: Elgar.

——— (2009). "The Double bubble of the turn of the century: technological roots and structural consequences". *Cambridge Journal of Economics*, vol. 33, nº 4, pp. 779-805.

Reinert, Erik (2007). *How Rich Countries Got Rich… and Why Poor Countries Stay Poor*. Nueva York: Carroll and Graf.

Schumpeter, Joseph A. (1961 [1911]). *The Theory of Economic Development*. Nueva York: Oxford University Press.

——— (1982 [1939]). *Business Cycles*, 2 volúmenes. Philadelphia: Porcupine Press.

Serra, Antonio (1613). *Breve trattato delle cause che possono far abbondare li regni d"oro e d"argento dove non sono miniere*. Nápoles: Lazzaro Scorrigio.

Tylecote, Andrew (1992). *The Long Wave in the World Economy*. Londres: Routledge.

Utterback, James M. y Abernathy, William J. (1975). "A Dynamic model of process and product innovation". *Omega*, vol. 3, nº 6, pp. 639-656.

Wolf, Julius (1912). *Die Volkswirtschaft der Gegenwart und Zukunft*. Leipzig: A. Deichert.

Bibliografía recomendada

Freeman, Christopher (1992). "A Green Techno-Economic Paradigm for the World Economy". En Freeman, Christopher, *The Economics of Hope*, cap. 10, pp. 190-211. Londres: Pinter.

——— (2002). "Continental, national and sub-national innovation systems – complementarity and economic growth". *Research Policy*, vol. 31, nº 2, pp. 191-211.

Mazzucato, Mariana y Pérez, Carlota (2015). "Innovation as Growth Policy: The Challenge for Europe". En Fagerberg, Jan; Laestadius, Steffan y Martin, Ben R. (eds.), *The Triple Challenge for Europe: Economic Development, Climate Change and Governance*, cap. 9, pp. 227-262. Oxford: Oxford University Press.

Pérez, Carlota (2016). "Capitalism, Technology and a Green Global Golden Age: The Role of History in Helping to Shape the Future".

En Mazzucato, Mariana y Jacobs, Michael (eds.), *Rethinking Capitalism*, cap. 11, pp. 191-217. Chichest: Wiley-Blackwell. Disponible en: http://beyondthetechrevolution.com/wp-content/uploads/2014/10/BTTR_WP_2016-1.pdf.

——— (2016). "Teoría y políticas de innovación como blanco móvil". En Erbes, Analía y Suárez, Diana (eds.), *Repensando el desarrollo latinoamericano: una discusión desde los sistemas de innovación*, cap. 9, pp. 293-317. Los Polvorines: Universidad Nacional de General Sarmiento. Disponible en: http://www.carlotaperez.org/downloads/pubs/Polit%20Innov%20como%20blanco%20movil.pdf.